



**Universidade Federal da Paraíba**

**Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional - CTDR**

**Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira – DTS**

**Curso de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira**



**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**KEROLY AMMINE ALVES DA COSTA ANDRADE**

**CLARIFICAÇÃO DO CALDO DE CANA POR MEIO DE CARVÕES ATIVADOS  
FEITOS A PARTIR DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**João Pessoa - PB**

**2016**

**Universidade Federal da Paraíba**



**Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional - CTDR**



**Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira – DTS**

**Curso de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira**

## **TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**KEROLY AMMINE ALVES DA COSTA ANDRADE**

### **CLARIFICAÇÃO DO CALDO DE CANA POR MEIO DE CARVÕES ATIVADOS FEITOS A PARTIR DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional da Universidade Federal da Paraíba, apresentado como requisito para obtenção do Grau de Tecnólogo em Produção Sucroalcooleira.

**Orientador: Profª Drª. Joelma Morais Ferreira.**

**João Pessoa - PB**

**2016**

A553c Andrade, Keroly Ammine Alves da Costa.

Clarificação do caldo de cana por meio de carvões ativados feitos a partir do bagaço da cana-de-açúcar. [recurso eletrônico] / Keroly Ammine Alves da Costa. -- 2016.

47 p. : il. color. + CD.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Orientador: Dra. Joelma Morais Ferreira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação - Tecnologia Sucroalcooleira) – CTDR/UFPB.

1. Bagaço de cana-de-açúcar – Tratamento. 2. Indústria sucroalcooleira – Resíduos - Tratamento. 3. Carvão ativado. 4. Caldo de cana-de-açúcar – Clarificação. I. Ferreira, Joelma Morais. II. Título.

CDU: 664.113(043.2)

**CLARIFICAÇÃO DO CALDO DE CANA POR MEIO DE  
CARVÕES ATIVADOS FEITOS A PARTIR DO BAGAÇO DA  
CANA-DE-AÇÚCAR**

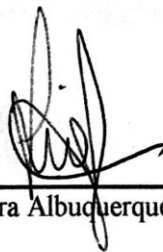
TCC aprovado em 29/11/16 como requisito para a conclusão do curso de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira da Universidade Federal da Paraíba.

**BANCA EXAMINADORA:**



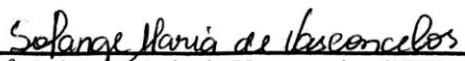
---

Prof.ª. Dr.ª. Joelma Morais Ferreira - (UFPB –Orientadora)



---

Prof.ª. Dr.ª. Liana Filgueira Albuquerque - (UFPB – Membro interno)



---

Prof.ª. Dr.ª. Solange Maria de Vasconcelos (UFPB – Membro Interno)

*Dedico em especial a Deus, pois sem ele nada teria sido possível e por toda paciência que foi concedida a mim durante o período de elaboração. Dedico também a todos que contribuíram de alguma maneira para realização deste trabalho.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, por estar ao meu lado em todos os momentos da minha vida, doando força e dedicação.

Aos meus pais e irmãos, por acreditarem em todo meu esforço.

A Danilo Medeiros, pois sempre estive ao meu lado fazendo o possível para que eu não hesitasse durante esta jornada.

A minha família e aos amigos da vida pessoal e acadêmica, por ser ponto de apoio.

A todos os professores do DTS, pois devo a eles minha formação acadêmica e conhecimento, que levarei por toda a vida, e a professora Danielle Jaguaribe, pela escolha do tema e projeto deste trabalho.

Agradeço ao Laboratório de Carvão Ativado, pelo espaço cedido para realização de grande parte deste trabalho, em especial a Diogo Rafael, que me ajudou e tirou dúvidas quando necessário.

Aos Laboratórios de Operações Unitárias e o de Produção Sucroalcooleira, pois foram responsáveis pelos testes realizados para obtenção dos resultados.

Por fim e em especial, agradeço a minha orientadora, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Joelma Moraes Ferreira, por estar junto durante esta jornada e por sempre querer o melhor para realização deste trabalho.

## RESUMO

Com as consequências dos diversos resíduos líquidos ou sólidos da indústria sucroalcooleira, tem-se cada vez mais a necessidade de dispor tais resíduos de maneira adequada no ambiente, seja tratando-os ou reaproveitando-os. Sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi o uso de um resíduo, o bagaço de cana de açúcar, para produzir carvão ativado (CA), a ser reaproveitado na própria indústria sucroalcooleira, a fim de aumentar o custo/benefício, tendo em vista que o carvão ativado pode ser utilizado como alternativa na clarificação do caldo de cana para fabricação de açúcar, descartando o uso do enxofre nesta etapa, pelo método de sulfitação. Os carvões ativados que foram produzidos submeteram-se a tratamentos superficiais químicos e físicos. Para o tratamento químico, foram feitos dois tipos de carvões, onde ficaram impregnados durante 40 minutos em ácido fosfórico e depois foram levados ao forno elétrico para carbonizar. Já no tratamento físico, o bagaço *in natura* foi levado diretamente ao forno, onde a ativação ocorreu por vapor d'água. Durante os ensaios foram avaliados a redução de cor, de acordo com a cor ICUMSA, com diferentes quantidades de massa dos carvões ativados, juntamente com 50 ml de caldo de cana. Também foram realizadas análises físico-químicas antes e após os testes, como °Brix, pH, Pol, pureza e turbidez. Com os ensaios experimentais, foi possível visualizar que o tipo de carvão ativado que obteve o melhor resultado de índice de redução de cor, em torno de 80%, foi o CAQ do bagaço *in natura*, utilizando 0,7 g deste tipo de carvão. Tendo em vista os resultados, verificou-se que o carvão ativado obtido pela cana-de-açúcar, que é um resíduo facilmente encontrado, apresenta potencial para ser considerada uma alternativa no processo de remoção de impurezas do caldo de cana-de-açúcar.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bagaço da cana-de-açúcar; Carvão ativado; Clarificação do caldo de cana.

## ABSTRACT

With the consequences of the various liquid or solid residues of the sugar and alcohol industry, there is a growing need to dispose of such waste in an appropriate way in the environment, either by treating or reusing them. Therefore, the objective of the present study was the use of a residue, the sugarcane bagasse, to produce activated carbon (AC), to be reused in the sugar and alcohol industry itself, in order to increase the cost / benefit ratio. That the activated carbon can be used as an alternative in the clarification of sugarcane juice for the manufacture of sugar, discarding the use of sulfur in this stage by the sulphitation method. The activated carbons that were produced underwent chemical and physical surface treatments. For the chemical treatment, two types of carbons were made, where they were impregnated for 40 minutes in phosphoric acid and then they were taken to the electric furnace for charring. Already in the physical treatment, the bagasse in natura was taken directly to the furnace, where the activation occurred by water vapor. During the tests, the color reduction was evaluated, according to ICUMSA color, with different mass quantities of the activated carbon, together with 50 ml of cane juice. Physical-chemical analyzes were also performed before and after the tests, such as ° Brix, pH, Pol, purity and turbidity. With the experimental tests, it was possible to visualize that the type of activated carbon that obtained the best result of color reduction index, around 80%, was the CAQ of the bagasse in natura, using 0,7 g of this type of coal. Considering the results, it was verified that the activated carbon obtained by sugarcane, which is an easily found residue, has the potential to be considered as an alternative in the process of removing impurities from the sugarcane juice.

**KEYWORDS:** Bagasse from sugar cane; Activated charcoal; Sugarcane juice clarification.



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	13
1.1 Objetivos	15
1.1.1 <i>Objetivo geral</i>	15
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	15
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b>	16
2.1 Bagaço da cana-de-açúcar	16
2.1.1 <i>Composição do bagaço da cana-de-açúcar</i>	16
2.2 Clarificação do caldo de cana-de-açúcar	17
2.3 Carvão ativado	17
2.3.1 <i>Ativação e carbonização do Carvão Ativado</i>	19
2.3.1.1 Ativação química	19
2.3.1.2 Ativação física	20
2.4 Adsorção	20
2.4.1 <i>Adsorção física e adsorção química</i>	22
2.5 Isotermas de adsorção	22
2.5.1 <i>Isoterma de Langmuir</i>	24
2.5.2 <i>Isoterma de BET</i>	24
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	26
3.1 Preparação dos adsorventes	27
3.1.1 <i>Preparação das pastilhas</i>	27
3.1.2 <i>Ativação química e carbonização das pastilhas</i>	28
3.1.3 <i>Lavagem das pastilhas de Carvão Ativado</i>	29
3.1.4 <i>Ativação química e carbonização do bagaço in natura</i>	30
3.1.5 <i>Lavagem do Carvão Ativado quimicamente</i>	30
3.1.6 <i>Ativação física e carbonização do bagaço in natura</i>	31
3.2 Caracterização dos Carvões Ativados	31

3.3 Ensaio de adsorção .....	32
3.4 Análises Físico-Químicas do caldo de cana-de-açúcar .....	33
3.4.1 Sólidos solúveis totais ( <i>°Brix</i> ) .....	33
3.4.2 <i>pH</i> .....	34
3.4.3 <i>Pol</i> .....	35
3.4.4 <i>Pureza</i> .....	35
3.4.5 <i>Cor ICUMSA</i> .....	35
3.4.6 <i>Turbidez</i> .....	37
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>38</b>
4.1 Caracterização dos Carvões Ativados .....	38
4.2 Isotermas de adsorção BET .....	39
4.3 Ensaio de adsorção .....	40
4.4 Análises Físico-Químicas do caldo de cana-de-açúcar .....	42
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>45</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática do carvão ativado. ....	18
Figura 2 - Representação do processo de adsorção.....	21
Figura 3 - Tipos de Isotermas de adsorção .....	23
Figura 4 - Moenda de cana utilizada para extração do caldo .....	26
Figura 5 - Balança analítica.....	28
Figura 6 - Forno elétrico rotativo .....	29
Figura 7 - Pastilhas de carvão ativado .....	30
Figura 8 - Microporosímetro MICROMERITICS asap 2020 .....	32
Figura 9 - Mesa agitadora utilizada nos ensaios de adsorção .....	33
Figura 10 - Refratômetro utilizado para medir o °Brix das amostras .....	34
Figura 11 - phmetro.....	34
Figura 12 - Polarímetro manual.....	35
Figura 13 - Espectrofotômetro EEQ-9005 .....	36
Figura 14 - Turbidímetro portátil .....	37
Figura 15 - Caldo bruto e caldo obtido após a adsorção .....	41

## LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1 – Características dos Carvões Ativados.....	38
Gráfico 1 – Isotermas BET.....	39
Tabela 2 – Resultados da cor ICUMSA após os ensaios de adsorção.....	40
Gráfico 2 – IRC do caldo de cana-de-açúcar.....	42
Tabela 3 – Análises Físico-químicas do caldo <i>in natura</i> .....	42
Tabela 4 - Análises Físico-químicas após os ensaios.....	43

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Å - Ångström

BET – Brunauer, Emmett e Teller

°Bx – Grau Brix

°C – Grau Celsius

CA – Carvão ativado

CAF – Carvão ativado fisicamente

CAQ – Carvão ativado quimicamente

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

CTDR – Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional

g – Grama

H<sub>2</sub>O - Água

H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> – Ácido fosfórico

ICUMSA - Comissão Internacional para Unificação dos métodos de análise açucareira

IUPAC – União Internacional da Química Pura e Aplicada

K – Kelvin

LCA – Laboratório de Carvão Ativado

m<sup>2</sup> - Metro quadrado

ml – Mililitro

nm – Nanômetro

NTU – Unidade de turbidez nefelométrica

pH - Potencial hidrogeniônico

rpm – Rotação por minuto

SO<sub>2</sub> – Dióxido de enxofre

UI – Unidade ICUMSA

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria sucroalcooleira é responsável pelo processo industrial da fabricação de açúcar e álcool, utilizando como matéria-prima a cana-de-açúcar. Segundo Goes *et al.*, (2008), o fortalecimento dessa indústria está diretamente ligado com a destinação adequada e a valorização cada vez maior dos resíduos gerados durante a fabricação de seus produtos – bagaço, vinhaça, torta de filtro, água de lavagem da cana etc, para não acarretar prejuízos ao meio ambiente, devido ao grande volume de resíduos obtidos. O bagaço da cana-de-açúcar, considerado como subproduto, é obtido após a extração do caldo, por meio de difusor ou moenda.

Além da indústria sucroalcooleira gerar um volume significativo de resíduos durante a fabricação de seus produtos, ela também é responsável por utilizar insumos tóxicos na etapa de alguns métodos de clarificação do caldo de cana, para remover compostos que dão cor ao caldo.

Isso porque o caldo extraído da cana-de-açúcar vem bruto e cheio de impurezas e de cor que varia do amarelado a esverdeado, mais ou menos claro ou escuro. As impurezas mais comuns são terra, areia e bagacilho, mas também possui as impurezas solúveis que são provenientes de corantes e sais minerais. A cor pode variar do tipo de espécie de cana-de-açúcar e do tratamento dado à planta durante o seu cultivo, levando em conta o nível de clorofila, antocianinas, sacaretina e outras substâncias que dão cor ao caldo de cana (PIRES *et al.*, 2012).

A maioria das usinas que produz o açúcar branco utiliza a sulfitação como método principal no processo do tratamento da clarificação do caldo de cana, que ocorre através do gás SO<sub>2</sub>, obtido pela combustão controlada do enxofre. Esse gás é conhecido como gás sulfuroso, anidrido sulfuroso ou dióxido de enxofre. O dióxido de enxofre é uma substância muito tóxica e tem proporcionado vários danos ao ser humano e ao meio ambiente, por ser cancerígeno, muito poluente, provocador de chuvas ácidas, destruidor da camada de ozônio, altamente corrosivo (ARAÚJO, 2007). Tendo isso em vista, é necessário buscar alternativas para minimizar o prejuízo ao meio ambiente.

Com a necessidade de desenvolver uma metodologia eficiente no processo de clarificação do caldo e decorrente de menos problemas ambientais, outros

processos tem sido propostos em substituição ao processo de sulfitação (SARTORI *et al.*, 2015). Dentre esses processos, a adsorção vem despertando interesse por não alterar as características do meio ambiente, ser eficiente e de baixo custo, isto é, utilização de materiais adsorventes que exigem pouco processamento, abundantes na natureza ou ainda subprodutos de resíduos industriais ou agrícolas.

Os adsorventes mais utilizados em escala industrial são: o carvão ativado, a sílica-gel, a alumina ativada e as peneiras moleculares (BRAGA, 2008). Carvões ativados podem ser obtidos através do bagaço da cana-de-açúcar, endocarpo do coco-da-baía, grãos de café, madeira etc, e estes devem possuir elevado teor de carbono em sua estrutura.

Carvões ativados são conhecidos como adsorventes muito eficazes, devido à sua porosidade altamente desenvolvida e elevada área superficial, que podem atingir  $3000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  (RODRÍGUES-REINOSO *et al.*, 1997 *apud* ABREU, 2013).

O carvão ativado é obtido através do tratamento térmico do material e da ativação do mesmo com o intuito de aumentar a porosidade interna. Podendo ser submetido a tratamentos superficiais químicos ou físicos.

Segundo Moreno-Castilla (2004), uma característica bastante significativa do carvão ativado é a porosidade, que pode ser classificada em microporos, mesoporos e macroporos, de acordo com sua largura.

A utilização de carvão ativado na clarificação do caldo de cana é possível devido ao fenômeno de adsorção, onde ocorre a fixação de moléculas da fase líquida para a fase sólida.

O bagaço de cana-de-açúcar é rentável para o setor sucroalcooleiro quando utilizado corretamente e tem despertado grande interesse para preparação de carvão ativado por apresentar-se como uma matéria-prima economicamente atrativa e disponível em abundância. Da moagem de uma tonelada de cana, uma usina produz, em média, 280 kg de bagaço (ABREU, 2013).



## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 *Objetivo geral*

O presente trabalho teve como objetivo a clarificação do caldo de cana por meio de carvões ativados feitos a partir do bagaço da cana-de-açúcar, submetidos a tratamentos superficiais físicos e químicos, a fim de transformar em matéria-prima um resíduo obtido na própria indústria sucroalcooleira.

### 1.1.2 *Objetivos específicos*

- ✓ Preparar as pastilhas, em um prensa, com o bagaço da cana-de-açúcar;
- ✓ Ativar as pastilhas quimicamente com  $H_3PO_4$ ;
- ✓ Produzir carvões ativados com o bagaço *in natura*;
- ✓ Ativar quimicamente e fisicamente o bagaço *in natura* para realizar o estudo comparativo com as pastilhas ativadas quimicamente;
- ✓ Realizar a caracterização do adsorvente e do adsorvato;
- ✓ Avaliar a eficiência dos carvões produzidos com o caldo de cana bruto;
- ✓ Fazer uma análise comparativa dos parâmetros físico-químicos relevantes na qualidade do caldo de cana tratado com os carvões.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Bagaço da cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar surgiu na ilha de Nova Guiné, na Oceania. No Brasil, a cana-de-açúcar chegou em 1520. Desde que chegou ao país, ela se tornou um dos mais importantes cultivos desenvolvidos no Brasil. Atualmente, o país ocupa o primeiro lugar no ranking de produção de açúcar. As usinas que trabalham com a cana-de-açúcar aproveitam praticamente tudo da planta. Após retirar o caldo da cana, o que sobra é chamado de bagaço (CANA-DE-AÇÚCAR, 2016).

De todos os resíduos da unidade industrial sucroalcooleira, o bagaço é um dos mais atrativos (KAWA, 2015). Ele é a fração de biomassa resultante após os procedimentos de limpeza, preparo (corte e desfibramento) e extração do caldo (moagem ou difusão). O bagaço apresenta variações na sua estrutura morfológica, das quais as mais representativas são as dimensões e formas das partículas, associadas, principalmente, aos processos de preparo e extração do caldo (ETANOL CELULÓSICO, 2016). Ele pode ter diversos usos, como a queima na caldeira para geração de energia, utilização em indústria de papel e celulose, produção de etanol de segunda geração, produção de carvão ativado (CA) etc.

#### **2.1.1 Composição do bagaço da cana-de-açúcar**

O bagaço de cana é uma matéria orgânica vegetal rica em açúcares complexos (polissacarídeos) como a celulose (moléculas de glicose) e a hemicelulos (pentoses, hexoses e/ou ácidos urônicos), compostos comumente encontrados nas paredes das células vegetais. Também está contida na composição do bagaço, a lignina, que é formada por uma estrutura complexa que dá às plantas uma maior resistência mecânica. Esses três materiais juntos compõem mais de 75% da biomassa vegetal e o restante é composta por substâncias como proteínas, óleos vegetais e minerais (SOARES, 2012).

## 2.2 Clarificação do caldo de cana-de-açúcar

O caldo de cana de açúcar é um líquido viscoso, de aparência opaca e cor amarelo esverdeado, de composição química complexa e variável (PAYNE, 1989). Para a remoção da maioria das substâncias que dão cor ao caldo (como clorofila, antocianina, sacaretina etc) é necessário submetê-lo a algum método de clarificação, visando a obtenção de um caldo claro e límpido.

A clarificação do caldo de cana-de-açúcar constitui uma das principais operações unitárias na obtenção do açúcar branco. No Brasil, o método tradicional deste processo é a sulfitação (técnica que emprega  $\text{SO}_2$  gasoso e cal). Porém, o  $\text{SO}_2$  tem apresentado algumas restrições quanto ao seu uso, de ordem tecnológica, operacional, ambiental e normas de segurança alimentar (HAMERSKI *et al.*, 2011).

As substâncias que colorem o caldo de cana e, conseqüentemente, o açúcar, advém, normalmente, da própria cana-de-açúcar ou podem ser produzidas por reações paralelas que ocorrem durante o processamento.

Faz-se necessário a busca por outros métodos e desenvolvimento de materiais que propõem alteração no processo de clarificação do caldo de cana e conseqüentemente, no açúcar branco produzido. Nesta vertente, o estudo envolvendo processos adsorptivos torna-se, especialmente, interessante por possibilitar a remoção de componentes solubilizados em misturas, além de poder favorecer o estudo de novos materiais adsorventes e de baixo custo, se tornando uma alternativa de aplicação industrial. O adsorvente mais comumente utilizado é o carvão ativado.

## 2.3 Carvão ativado

O carvão ativado é um material carbonáceo que apresenta uma estrutura porosa e que possui uma pequena presença de heteroátomos, principalmente oxigênio, ligados aos átomos de carbono. Ele é caracterizado por possuir uma elevada área superficial específica e porosidade bastante desenvolvida, conferindo-lhe a capacidade de adsorver moléculas tanto em fase líquida quanto gasosa (MACEDO, 2005).

Segundo Moreno-Castilla e Rivera-Utrilla (2001) *apud* Abreu (2013), o carvão ativado pode ser preparado a partir de várias matérias-primas, como: cascas de

coco, grãos de café, babaçu, madeira, carvões minerais, bagaço de cana-de-açúcar etc. Estas devem ser abundantes, ter baixo custo, possuírem alto teor de carbono, ser facilmente ativadas e apresentarem baixa degradação por envelhecimento.

Segundo Dias *et al.*, (2007), a preparação de carvão ativado a partir de materiais residuais possui várias vantagens, principalmente de natureza econômica e ambiental, pois diminui os custos de disposição de resíduos e auxilia na proteção do meio ambiente.

O CA é produzido pela carbonização do precursor. Durante este processo, para o CA ser formado, ocorrem a liberação de gases voláteis e a formação de poros no carvão (MEDEIROS, 2001 *apud* BEZERRA, 2012). Esta porosidade é classificada segundo o tamanho dos espaços vazios, em macro ( $> 450$  nm), meso (2 a 50 nm) e microporos ( $< 2$  nm) em sua estrutura (Figura 1), mas a proporção do tipo de poro varia de acordo com o precursor e o processo de fabricação utilizado (CLAUDINO, 2003). A maior parte da superfície do CA está na região de microporos, que são os principais responsáveis pela capacidade de adsorção (RODRIGUES, 2004 *apud* CRISPIM, 2009).

Figura 1 – Representação esquemática do carvão ativado.



Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (2003).

O carvão ativado tem sido muito utilizado em tratamentos como purificação, filtração, descoloração, desclorificação etc (COUTINHO *et al.*, 2000 *apud* COUTO, 2009). Essas aplicações fazem dele um material de bastante interesse para setores econômicos em diversas áreas, como: alimentícia, farmacêutica, química, petrolífera,

nuclear, tratamento de água e do ar atmosférico (MUSSATTO e ROBERTO, 2004 *apud* COUTO, 2009).

Pode-se encontrar CA comercial em forma de grãos ou pulverizado. Embora existam muitos tipos de adsorventes já testados em tratamento de fase aquosa, os carvões dos tipos granular e em pó são ainda os mais utilizados (DIAS *et al.*, 2007).

### **2.3.1 Ativação e carbonização do Carvão Ativado**

Carvões Ativados são obtidos através de duas etapas: a carbonização pela pirólise do precursor e a ativação.

Segundo CLAUDINO (2003), a carbonização consiste na pirólise do precursor em atmosfera inerte a temperatura superior a 200 °C. É uma etapa de preparação do material, onde se removem componentes voláteis e gases leves (CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>), obtendo uma massa de carbono fixo e uma estrutura porosa que favorece a ativação posterior. Os parâmetros importantes que irão determinar a qualidade e o rendimento do produto carbonizado são a taxa de aquecimento, a temperatura final e natureza da matéria prima.

O processo seguinte à pirólise é a ativação. Que consiste em submeter o material carbonizado a reações secundárias, com o intuito de aumentar a área superficial. É a etapa fundamental na qual será promovido o aumento significativo da porosidade do carvão. Deseja-se no processo de ativação, o controle das características básicas do material (distribuição de poros, área superficial específica etc.) de acordo com a configuração requerida para uma dada aplicação específica. Existem dois tipos de métodos de ativação: ativação química e/ou ativação física (SOARES, 2001).

#### **2.3.1.1 Ativação química**

A ativação química consiste na ação desidratante de certas substâncias, como ácido fosfórico ou cloreto de zinco, sobre o precursor ainda não carbonizado. Durante a carbonização, usa-se uma faixa de temperatura de 400 a 800 °C. Em seguida, procede-se à remoção dos reagentes químicos (SOARES, 2001).

### 2.3.1.2 Ativação física

A ativação física baseia-se na reação de gaseificação do carvão com gases contendo oxigênio combinado (geralmente H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> ou mistura de ambos). Ambos os gases comportam-se como agentes oxidantes moderados na faixa de temperatura de 800 a 1000 °C (SOARES, 2001).

## 2.4 Adsorção

As primeiras observações do fenômeno de adsorção foram feitas por Scheele, em 1773, realizando experimentos com carvão ativado e argilas, descobrindo que eles podem reter certos gases. Já no ano de 1973, Lowitz observou o mesmo fenômeno, realizando experimentos com soluções (MCKAY, 1995 *apud* ALVES, 2013).

A adsorção é um fenômeno no qual um soluto é removido de uma fase e acumulado na superfície de uma segunda fase. O *adsorvato* é o material adsorvido, e o meio onde ocorre o acúmulo dele é conhecido como *adsorvente* (PERUZZO, 2003).

Letterman (1999) *apud* Nunes (2009), afirmam que a adsorção de moléculas pode ser representada como uma reação química (Eq. 1):



em que:

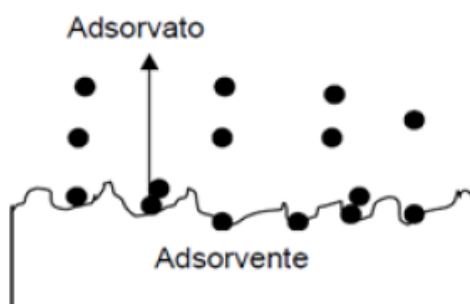
A é o adsorvato;

B é o adsorvente;

A.B é o composto adsorvido.

Uma representação do processo de adsorção pode ser observado na Figura 2, em que as moléculas de adsorvato (substância a ser adsorvida) são transferidas para a superfície do adsorvente (BUTT, GRAF e KAPPL, 2006 *apud* ALVES, 2013).

Figura 2 - Representação do processo de adsorção.



Fonte: Butt, Graf e Kappl (2006).

Segundo Camargo *et al.* (2005) *apud* Nievesberg (2012), a adsorção ocorre devido a posição incomum dos átomos da superfície em relação aos átomos do interior do sólido. Os átomos da superfície apresentam uma força na direção normal à superfície, para o interior, que deve ser balanceada. Uma energia superficial surge pela necessidade de neutralização dessa força, atraindo e mantendo na superfície do adsorvente as moléculas de gases ou de substâncias com que estejam em contato. Durante o processo, as moléculas encontradas na fase fluida são atraídas para a zona interfacial devido à existência de forças atrativas (ligações de Hidrogênio, ligações covalentes, interações dipolo-dipolo, forças de Van der Waals, entre outras).

A ocorrência da adsorção depende da área superficial, pois limita a quantidade de material que pode ser adsorvido, e do volume dos poros, que limita as dimensões das moléculas que podem ser adsorvidas (ALVES, 2005).

Segundo Souza (2016), o carvão ativado tem a capacidade de coletar seletivamente gases, líquidos e impurezas no interior dos seus poros, sendo por isso vastamente utilizado em sistemas de filtragem. Ele retém em seus poros certos tipos de impurezas, como partículas que causam coloração, que permanecem fixadas ao CA por forças físicas (aderência).

Existem dois tipos de adsorção, segundo a natureza das forças: adsorção química e adsorção física. O segundo tipo é aplicado ao caso do CA no processo de remoção de cor.

### 2.4.1 Adsorção física e adsorção química

A adsorção física é o fenômeno da retenção de moléculas junto à superfície de um sólido. Como a adsorção se dá na superfície do sólido, adsorventes desenvolvidos para aplicações práticas devem apresentar grande área superficial específica. Processos de ativação desenvolvem poros de dimensões moleculares (microporos) dentro da partícula de carvão (SOARES, 2001).

Quando ocorre a adsorção física a natureza do adsorvato não se altera, pois ligações não são quebradas ou feitas, sendo uma adsorção não-específica. E esse tipo de adsorção é reversível (ORTIZ, 2000).

As forças que originam a adsorção física podem ser classificadas como (PRAUSNITZ, 1986 *apud* BRANDAO, 2006):

- Forças eletrostáticas entre partículas carregadas (íons) e entre dipolos permanentes;
- Forças de indução entre um dipolo permanente e um dipolo induzido;
- Forças de atração;
- Forças de repulsão de curto alcance.

Na adsorção química as partículas do adsorvato se aderem à superfície do adsorvente através da formação de ligações químicas, normalmente covalentes. Nessa adsorção ocorre um compartilhamento de elétrons entre o adsorvente e a molécula adsorvida, resultando na formação de, pelo menos, um novo componente químico (GREGG e SING, 1982 *apud* NUNES, 2009).

## 2.5 Isotermas de adsorção

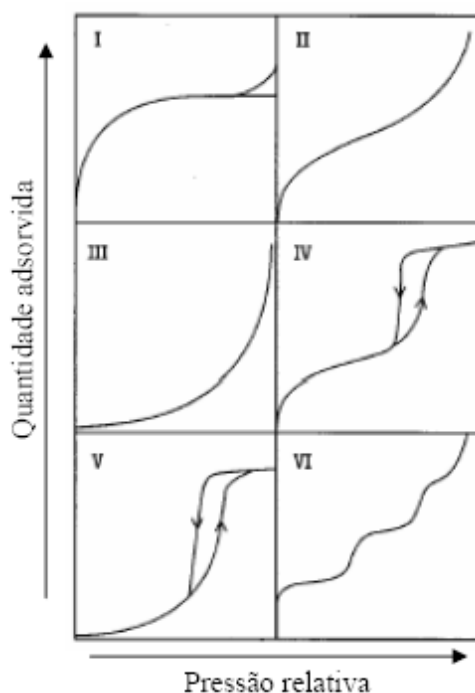
A capacidade de um material adsorver um soluto é dada pelo poder adsortivo que é obtido em função da concentração, no meio fluido e na superfície do sólido. Em alguns sistemas, pode-se traçar uma curva de concentração do soluto em função da fase fluida. As curvas obtidas são chamadas de *isotermas de adsorção* (CUSSLER, 1997 *apud* NUNES 2009).

As isotermas, normalmente, são desenvolvidas para avaliar a capacidade de adsorção entre os diferentes CA e são utilizadas como uma ferramenta para discriminar entre diferentes CAs, aquele mais apropriado para uma aplicação específica (ARSLANOGLU, 2005 *apud* MACEDO, 2005).



De maneira geral, os adsorventes podem ser classificados em função da sua estrutura porosa em seis tipos, conforme a classificação proposta por Brunauer, Emmett e Teller (BET), já estabelecidas pela IUPAC (Fig. 3) (NUNES, 2009).

Figura 3 - Tipos de isotermas de adsorção



Fonte: Brunauer *et al.*, (1938) *apud* Crispim (2013).

O Tipo I é do tipo Langmuir e é característica de adsorventes microporosos (0,8 nm a 1,8 nm), limitado a poucas camadas moleculares. A isoterma do tipo II e IV corresponde a sistema não poroso ou no intervalo de meso ou macroporos (RODELLA, 2001).

A isoterma do tipo III e V estão relacionadas com interações pouco intensas, em sistemas contendo macro e mesoporos (CRISPIM, 2013).

E por fim, a isoterma do tipo VI. É indicativa de um sólido não poroso com uma superfície quase completamente uniforme e bastante rara, onde a adsorção ocorre em etapas (NUNES, 2009).

### 2.5.1 Isoterma de Langmuir

Segundo Brandão (2006), a isoterma de Langmuir é um dos modelos mais simples para representação das isotermas de adsorção. Algumas considerações devem ser feitas para esse modelo de isoterma:

- A superfície de um sólido é constituída por um número finito de sítios de adsorção onde as moléculas se adsorvem;
- Cada sítio tem a capacidade de adsorver apenas uma molécula;
- Todos os sítios possuem a mesma energia adsortiva;
- Não existem interações ente moléculas adsorvidas em sítios vizinhos.

O modelo proposto por Langmuir tem sua forma geral conforme apresentado na Equação (2):

$$Q_e = \frac{q_0 b C_{eq}}{1 + b C_{eq}} \quad (2)$$

em que:

$Q_e$  é a quantidade adsorvida na fase sólida ( $\text{mg.g}^{-1}$ );

$C_{eq}$  é a concentração no equilíbrio na fase líquida ( $\text{mg.L}^{-1}$ );

$q_0$  representa a máxima capacidade de adsorção, relacionada a cobertura em monocamada ( $\text{mg.g}^{-1}$ );

$b$  é o grau de afinidade ( $\text{L.g}^{-1}$ ), relacionado com a constante de equilíbrio de Langmuir,  $K_L = q_0 \times b$ .

### 2.5.2 Isoterma de BET

Em 1938, BET, propuseram uma teoria para explicar a adsorção utilizando o mesmo mecanismo da adsorção de Langmuir e introduzindo o conceito de adsorção em camadas. O modelo BET obedece as seguintes considerações:

- A adsorção ocorre em várias camadas independentes;
- O equilíbrio é alcançado para cada camada;

- A adsorção é aproximadamente igual à condensação, se ocorrer em fase gasosa, ou precipitação, se ocorrer na fase líquida (PERUCH, 1997).

A isoterma de BET é representada pela Equação (3).

$$\frac{C}{(C_s - C) \cdot \frac{X}{M}} = \frac{1}{B \cdot q} + \frac{B - 1}{B \cdot q} \cdot \frac{C}{C_s} \quad (3)$$

onde:

$X/M$  é quantidade de soluto adsorvido por unidade de massa do adsorvente ( $\text{mg.g}^{-1}$ );

$C$  é a concentração do soluto remanescente na solução ( $\text{mg.L}^{-1}$ );

$C_s$  é a concentração de saturação do soluto ( $\text{mg.L}^{-1}$ );

$q$  é a quantidade de soluto adsorvido por unidade de massa do adsorvente formando uma monocamada na superfície ( $\text{mg.L}^{-1}$ );

$B$  é a constante da energia de interação com a superfície.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a produção de carvão ativado foi utilizado como matéria-prima um resíduo da indústria sucroalcooleira, o bagaço da cana-de-açúcar. O material foi fornecido do estoque do Laboratório de Carvão Ativado da UFPB.

Para os ensaios de clarificação, o caldo foi oriundo da cana-de-açúcar de variedade RB92579 cedida pela Usina Miriri, situada no município de Santa Rita – PB.

Segundo a Ridesa (2010), a RB92579 tem como principais características: excelente produtividade agrícola, ótimo perfilhamento, bom fechamento da entrelinha, porte semi-ereto, ótima colheitabilidade; boa recuperação após períodos de seca, altamente responsiva à irrigação, muito eficiente no uso da água, alta eficiência no uso dos principais nutrientes, ótimo teor de sacarose e é recomendada para colheita do meio para o final de safra.

O caldo foi extraído em uma pequena moenda de cana da marca Camargo (Fig. 4) do Laboratório de Operações Unitárias (CTDR – UFPB).

Figura 4 - Moenda de cana utilizada para extração do caldo



Fonte: Elaborada pela autora (2016).

### 3.1 Preparação dos adsorventes

Para o estudo da clarificação do caldo extraído, foram feitos três tipos de adsorventes, a partir do bagaço previamente preparado:

- Carvão ativado quimicamente (pastilhas);
- Carvão ativado quimicamente (bagaço *in natura*);
- Carvão ativado fisicamente (bagaço *in natura*).

O bagaço triturado da cana-de-açúcar foi fornecido pelo Laboratório de Carvão Ativado (LCA) da UFPB.

#### 3.1.1 Preparação das pastilhas

Colocou-se 09 gramas de bagaço e 50 ml de líquido pirolenhoso (proveniente do tratamento térmico no forno elétrico rotativo) em uma prensa da marca CHINO (Fig. 4) até atingir 128 °C, depois, a pastilha foi retirada. Esse procedimento foi realizado 04 vezes.

Figura 4 - Prensa CHINO utilizada na preparação das pastilhas de Carvão Ativado



Fonte: Elaborada pela autora (2016).

Foram feitas 04 pastilhas, que obtiveram os seguintes pesos após a prensagem: 7,28 g, 7,44 g, 8,43 g e 8,14 g. Totalizando em um peso inicial de 31,2

g. Estas pastilhas foram pesadas em balança analítica de marca SHIMADZU e modelo AX200 (Fig. 5).

Figura 5 - Balança Analítica



Fonte: Elaborada pela autora (2016).

### **3.1.2 Ativação química e carbonização das pastilhas**

O agente químico utilizado para ativar as pastilhas foi o ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) com concentração de 85%. As 04 pastilhas foram colocadas em um béquer e imersas em solução de 21,6 ml de ácido fosfórico e água destilada, durante 40 minutos.

Depois da ativação, as pastilhas seguiram para o forno elétrico rotativo de modelo TAKABAYASHI RICA (Fig. 6), acoplado a uma caldeira elétrica, para serem carbonizadas. O forno permite a programação da razão de aquecimento e do limite de temperatura, que foi de 10 °C/min até atingir 700 °C, respectivamente, permanecendo nesta temperatura durante 01 hora.

Figura 6 - Forno elétrico rotativo



Fonte: Elaborada pela autora (2016).

### **3.1.3 Lavagem das pastilhas de Carvão Ativado**

As pastilhas de carvão ativado foram lavadas repetidas vezes com água destilada até o pH atingir a neutralidade. Depois, foram levadas para a estufa durante 24 horas para secar.

Em seguida, o carvão já ativado (Fig. 7) foi pesado, obtendo uma massa final de 10,07 g.

Para determinar o rendimento de carvão produzido ( $R_{CA}$  %), utiliza-se a Equação (4):

$$R_{CA} \% = \frac{\text{massa final do carvão}}{\text{massa inicial da matéria prima}} \times 100 \quad (4)$$

Figura 7 - Pastilhas de carvão ativado



Fonte: Elaborada pela autora (2016).

#### ***3.1.4 Ativação química e carbonização do bagaço in natura***

Em um béquer, foram adicionados 50 g do bagaço de cana-de-açúcar e 34,7 ml de ácido fosfórico. Houve a adição de água destilada para a mistura ficar imersa durante 40 minutos para ocorrer à ativação.

Depois, o bagaço de cana foi colocado no forno elétrico rotativo para ser carbonizado a uma razão de aquecimento de 10 °C/min até atingir 700 °C, permanecendo nesta temperatura durante 01 hora.

#### ***3.1.5 Lavagem do Carvão Ativado quimicamente***

O CAQ do bagaço de cana-de-açúcar foi lavado com água destilada repetidas vezes até atingir a neutralidade. Depois, foi colocado na estufa durante 24 horas para perder umidade. Em seguida, o CAQ foi pesado na balança analítica, obtendo uma massa final de 29,16 g.



### **3.1.6 Ativação física e carbonização do bagaço *in natura***

Na produção de carvão ativado fisicamente, o precursor é levado diretamente ao forno elétrico rotativo e tem como gás oxidante o vapor d'água.

Foram adicionados 50 g do bagaço de cana-de-açúcar *in natura* ao forno elétrico para ser carbonizado numa razão de aquecimento de 10 °C/min até atingir 700 °C, permanecendo durante 01 hora. Quando o forno alcançou esta temperatura, um fluxo de vapor d'água foi liberado através de uma caldeira elétrica acoplada ao forno, para ocorrer à ativação.

A etapa posterior foi a pesagem do carvão ativado fisicamente (CAF) em uma balança analítica, que obteve 12,5264 g de massa final.

## **3.2 Caracterização dos Carvões Ativados**

Os carvões ativados produzidos foram peneirados e inseridos em um microporosímetro de marca MICROMERITICS, modelo ASAP 2020 (Fig. 8), para obter os dados por adsorção na fase gasosa a 77 K. Este equipamento fundamenta-se no modelo de Brunauer, Emmett e Teller (BET), e determina:

- Área superficial BET;
- Área de microporos;
- Volume de microporos;
- Diâmetro médio dos poros;
- Isotermas de adsorção-dessorção.

Segundo Santana *et al.* (2012), a determinação por área superficial BET é uma medida importante da área de projeção molecular, sendo a mais utilizada para área superficial de um sólido e definida como a superfície interna presente no material por unidade de massa ( $\text{m}^2/\text{g}$ ).

Figura 8 - Microporosímetro MICROMERITICS ASAP 2020



Fonte: Elaborada pela autora (2016).

### 3.3 Ensaio de adsorção

Após a preparação dos CA, foram realizados ensaios de adsorção para fins de estudo comparativo relacionado à redução da cor no caldo. Foram utilizados 12 erlenmeyers. Em cada um foi adicionado 50 ml de caldo e foi variada a massa de carvão ativado. As massas foram: 0,1 g, 0,3 g, 0,5 g e 0,7 g de CA. Os erlenmeyers foram levados para uma Mesa Agitadora SL-180 (Fig. 9) e agitados durante 01 hora a uma velocidade de 20 rpm. Posteriormente, as amostras foram filtradas e realizadas as seguintes análises físico-químicas: °Brix, pH, pol, pureza, cor e turbidez. Tais análises foram feitas antes e após os ensaios.

Figura 9 - Mesa agitadora utilizada nos ensaios de adsorção



Fonte: Elaborada pela autora (2016).

### 3.4 Análises Físico-Químicas do caldo de cana-de-açúcar

#### 3.4.1 Sólidos solúveis totais ( $^{\circ}$ Brix)

$^{\circ}$ Brix é uma escala numérica que mede a quantidade de sólidos solúveis em uma solução de sacarose. O Brix aproxima a concentração de açúcar na amostra. Uma unidade de Brix corresponde a 1g de sólidos solúveis em 100g de solução a uma determinada temperatura (ARAÚJO e FONSECA, 2010).

O Brix foi medido utilizando um Refratômetro portátil da marca INSTRUTHERM e modelo RTA-50 (Fig. 10).

Figura 10 - Refratômetro utilizado para medir o °Brix das amostras



Fonte: Elaborada pela autora (2016).

### 3.4.2 pH

Para a determinação do potencial hidrogeniônico (pH) das amostras foi utilizado o método de leitura direta em pHmetro digital de marca PHTEK e modelo PHS-3E (Fig. 11).

Figura 11 - pHmetro



Fonte: FABENE, 2012.

### 3.4.3 Pol

Indica o teor de sacarose aparente em uma solução açucarada. Para obter a Pol, foi utilizado Polarímetro Manual Full-Círculo WXG-4 (Fig. 12), que determina a concentração de amostras através da luz polarizada.

Antes de inserir a amostra do caldo no tubo do polarímetro, ela foi clarificada com 03 g do reagente Octapol e filtrada com o auxílio de uma bomba a vácuo e filtro.

Figura 12 - Polarímetro Manual



Fonte: Elaborada pela autora (2016).

### 3.4.4 Pureza

É a relação (Pol/Brix) x 100. Quanto maior a pureza, melhor a qualidade da matéria-prima para se recuperar açúcar.

### 3.4.5 Cor ICUMSA

A determinação da cor foi realizada de acordo com o método da Comissão Internacional para Unificação dos Métodos de Análise Açucareira (ICUMSA), a partir da Equação (5):

$$\text{Cor ICUMSA (420 nm)} = \frac{-\log T}{b \times c} \times 1000 \quad (5)$$

onde:

T é a absorbância da amostra lida no espectrofotômetro;

b é o comprimento da cela de absorção, em cm;

c é a concentração da amostra diluída, em g/mL, calculada em função do °Brix e da densidade/ 100.

A absorbância foi determinada em Espectrofotômetro da marca EDUTEC e modelo EEQ-9005 (Fig. 13) a um comprimento de onda de 420 nm e a densidade foi determinada em proveta de 10 ml.

Figura 13 - Espectrofotômetro EEQ-9005



Fonte: Elaborada pela autora (2016).

O índice de redução de cor (IRC) foi feito utilizando a cor ICUMSA inicial e as cores ICUMSA após os testes. Sendo determinado através da Equação (6):

$$IRC = \frac{\text{Cor inicial do caldo} - \text{Cor do caldo descolorido}}{\text{Cor inicial do caldo}} \times 100 \quad (6)$$

### 3.4.6 Turbidez

Para avaliação da turbidez do caldo foi utilizado Turbidímetro Portátil da marca HANNA Instruments e modelo HI 93703 (Fig. 14). A turbidez identifica a presença de substâncias em suspensão.

Figura 14 - Turbidímetro Portátil



Fonte: Elaborada pela autora (2016).



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização dos Carvões Ativados

Na Tabela 1, a seguir, é possível visualizar as características dos três tipos de carvões ativados, como: a área superficial BET, área de microporos, volume de microporos, diâmetro médio dos poros e o rendimento dos carvões ativados produzidos.

Tabela 1 - Características dos carvões ativados

	CAQ (pastilhas)	CAQ (bagaço <i>in natura</i> )	CAF (bagaço <i>in natura</i> )
Área superficial BET (m <sup>2</sup> /g)	432,8163	520,3829	313,5939
Área de microporos (m <sup>2</sup> /g)	357,0740	385,7106	252,9691
Volume de microporos (cm <sup>3</sup> /g)	0,165571	0,176114	0,117648
Diâmetro médio dos poros (Å)	22,7236	21,0676	19,4579
R <sub>CA</sub> (%)	32,3	58,4	25

Fonte: Elaborada pela autora (2016).

A área de superfície é um dos indicadores mais importantes para avaliar a capacidade de adsorção de materiais porosos, sendo o modelo BET o mais frequentemente utilizado para esta avaliação. Pela caracterização realizada, as maiores áreas observadas foram com os carvões ativados quimicamente.

Todos os carvões ativados contêm micro, meso e macroporos em sua estrutura, mas a proporção relativa varia, consideravelmente, de acordo com o precursor e o processo de fabricação utilizado.



De acordo com a Tabela 1, a distribuição do volume de poros em função do diâmetro, indicou que os carbonos ativados quimicamente são principalmente caracterizados por mesoporos (20 a 500 Å).

Levando-se em conta a área superficial e o volume de poros espera-se que o CAQ (bagaço *in natura*) se apresente como o mais favorável.

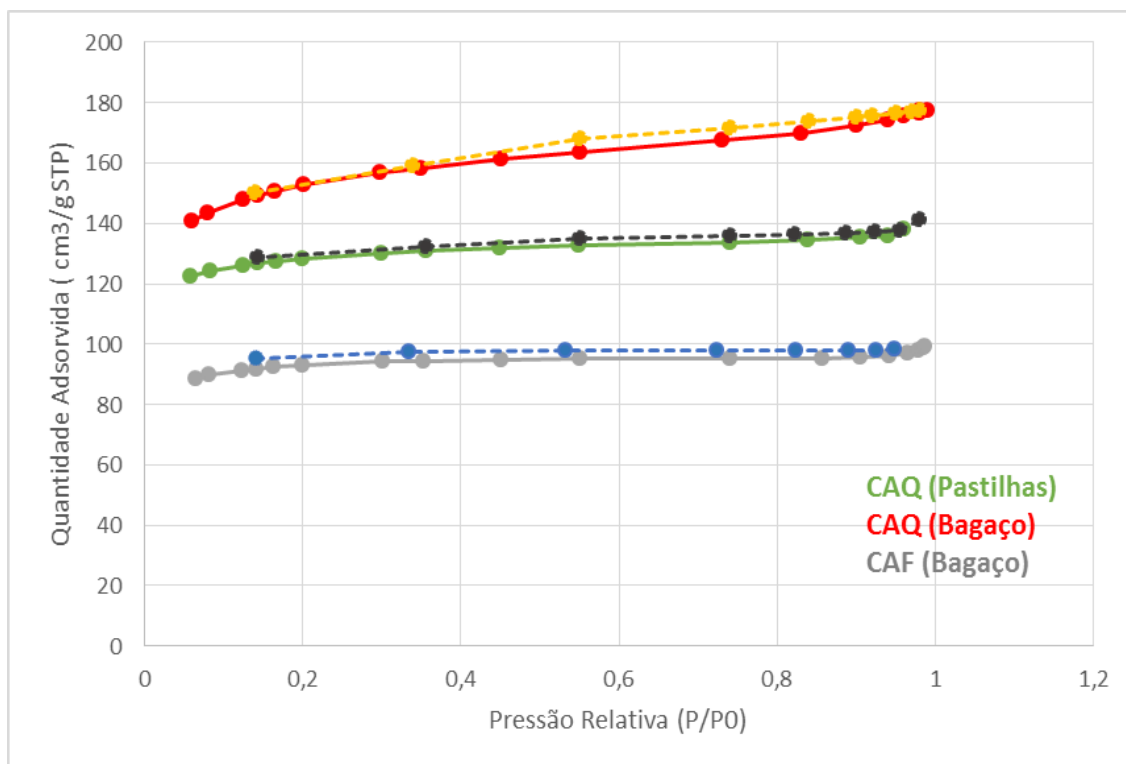
Através dos dados fornecidos na Tabela 1 percebeu-se que o tipo de ativação influenciou a formação dos poros e, conseqüentemente, no aumento da área superficial dos adsorventes.

Schettino Jr *et al.*, (2007) mostraram a viabilidade do uso de resíduos na produção de carvão ativado com proposta de mecanismo de ativação e com resultados significativos de desenvolvimento de porosidade.

## 4.2 Isotermas de adsorção BET

O Gráfico 1 apresenta as isotermas BET obtidas para cada tipo de carvão ativado. As isotermas são formadas pela diferença de pressão.

Gráfico 1 - Isotermas BET



Fonte: Elaborada pela autora (2016).

Observa-se que os 03 carvões ativados apresentam isotermas com o comportamento do tipo IV, de acordo com a IUPAC.

A isoterma do tipo IV indica a presença de microporos associados à mesoporos. Os ciclos de histerese observados nas isotermas estão relacionados com o mecanismo de condensação de N<sub>2</sub> nos mesoporos. Tais ciclos são associados a poros com formatos de cunhas, cones e/ou placas paralelas e capilares cilíndricos abertos em ambas as extremidades (Schettino Jr *et al.*, 2007).

É possível constatar que as amostras preparadas a partir do adsorvente previamente ativado quimicamente são as que apresentam maior desenvolvimento de porosidade, o que está associado à maior quantidade adsorvida.

### 4.3 Ensaios de adsorção

Os resultados de cor ICUMSA obtidos após a clarificação do caldo com os três tipos de CA são apresentados na Tabela 2.

A cor ICUMSA obtida inicialmente, com o caldo ainda bruto, foi de 4144 UI.

Tabela 2 - Resultados da cor ICUMSA após os ensaios de adsorção

<b>Massa de CA</b>	<b>CAQ (Pastilhas)</b>	<b>CAQ (bagaço <i>in natura</i>)</b>	<b>CAF (bagaço <i>in natura</i>)</b>
<b>0,1 g</b>	1926 UI	2094 UI	1731 UI
<b>0,3 g</b>	1747 UI	1667 UI	1453 UI
<b>0,5 g</b>	1414 UI	1139 UI	1365 UI
<b>0,7 g</b>	1163 UI	875 UI	1045 UI

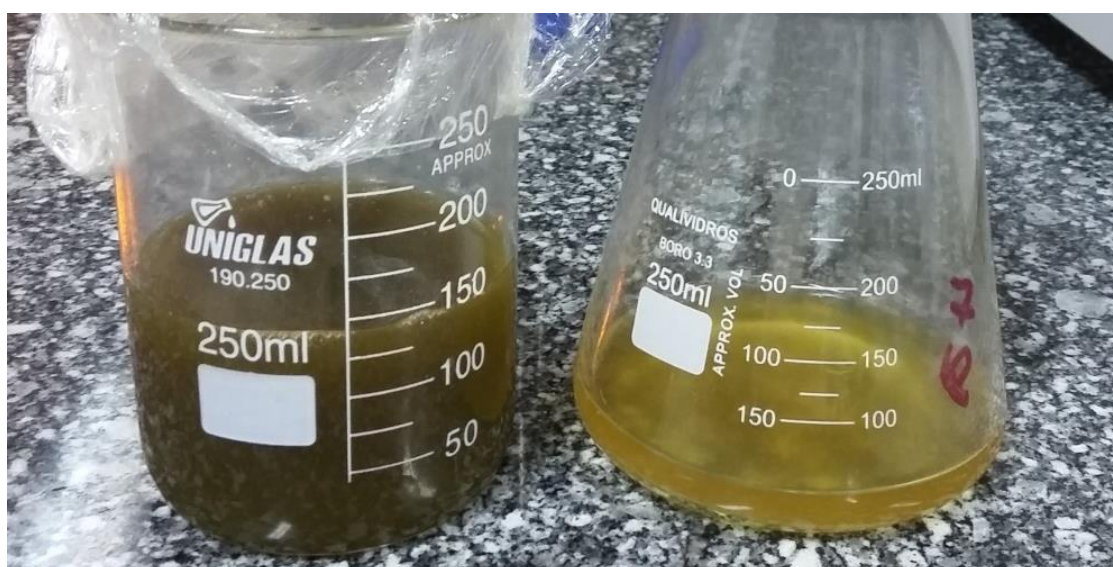
Fonte: Elaborada pela autora (2016).

Segundo Simioni *et al.*, (2006), quanto mais baixa a unidade de cor ICUMSA, mais claro será o açúcar gerado, e à medida que a cor ICUMSA aumenta, o açúcar vai adquirindo coloração mais escura.

Analisando a Tabela 2, pode-se afirmar que houve uma redução de cor satisfatória nos três tipos de CA e que, na medida em que houve acréscimo de massa de CA, houve também maiores níveis de redução de cor ICUMSA.

A melhor taxa de remoção de cor foi utilizando 0,7 g do CAQ do bagaço *in natura*, fato este que pode ser explicado devido à maior área superficial que foi obtida neste tipo de carvão. A Figura 15 mostra o caldo bruto e o caldo obtido após o teste com 0,7 g de CAQ do bagaço *in natura*.

Figura 15 - Caldo bruto e caldo obtido após a adsorção

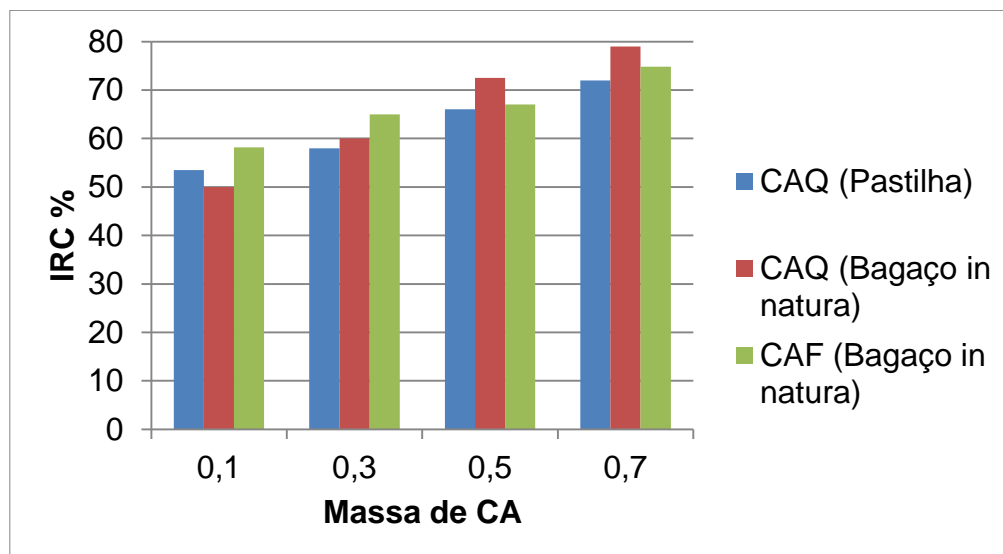


Fonte: Elaborada pela autora (2016).

O Gráfico 2, a seguir, mostra o índice de redução de cor (IRC %) em função da variação da massa do CA.

Observa-se que com o acréscimo de massa (g) de CA, obtêm-se maiores índices de redução de cor, devido a maior disponibilidade de microporos para que as impurezas do adsorvato fixem-se no interior do adsorvente.

Gráfico 2 - IRC do caldo de cana-de-açúcar



Fonte: Elaborada pela autora (2016).

#### 4.4 Análises Físico-Químicas do caldo de cana-de-açúcar

Os valores obtidos das análises dos parâmetros físico-químicos do caldo *in natura* são apresentados na Tabela 3.

Segundo Ripoli e Ripoli (2009), a cana-de-açúcar em seu estágio de maturação apresenta valores de Pol maior que 14%, Pureza acima de 85% e pH acima de 5. E o caldo obtido de uma cana madura varia entre 20 e 22 °Brix.

Tabela 3 - Análises Físico-Químicas do caldo *in natura*

Parâmetro Físico-químico	Resultados iniciais
°Brix	21
pH	5,05
Pol (%)	17,328
Pureza (%)	82,5
Turbidez (NTU)	895

Fonte: Elaborada pela autora (2016).

As análises físico-químicas do Brix, pH, pol, pureza e turbidez realizadas após os ensaios de adsorção podem ser visualizadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Análises Físico-Químicas após os ensaios

	CAQ (Pastilha)				CAQ (bagaço <i>in natura</i> )				CAF (bagaço <i>in natura</i> )			
CA (g)	0,1	0,3	0,5	0,7	0,1	0,3	0,5	0,7	0,1	0,3	0,5	0,7
°Brix	18	20	21	21	21	21	21	21	21	20	21	21
pH	5,26	5,26	5,37	5,45	5,34	5,27	5,32	5,38	5,24	5,49	5,3	5,4
Pol (%)	16,8	17,3	17,3	17,3	17,3	16,7	16,7	16,7	17,3	16,7	16,7	16,7
Pureza (%)	93	86,5	82,5	82,5	82,5	79,5	79,5	79,5	82,5	83,5	79,5	79,5
Turbidez (NTU)	118	101	82	10,3	149	121	76	9,7	126	104	80	77

Fonte: Elaborada pela autora (2016).

A partir da Tabela 4 observou-se que, de uma maneira geral, a clarificação do caldo com carvão ativado, não promoveu grandes alterações nos parâmetros físico-químicos aqui estudados, com exceção da turbidez que verificou-se uma redução de até, aproximadamente, 99% quando trabalhou-se com 0,7 g de CAQ do bagaço *in natura*. O fato do pH do caldo não sofrer nenhuma influência e nem redução em seus teores pode se mostrar como fator positivo, uma vez que, em meio ácido, pode ocorrer a inversão da sacarose em glicose e frutose, encadeando uma série de reações de desidratação que podem resultar na formação de compostos coloridos e indesejados, o que pode afetar diretamente na pureza e refletindo negativamente na recuperação do açúcar pela fábrica. Dessa forma, acarretando em reações que aumentam a cor do açúcar e, conseqüentemente, depreciam sua qualidade.

## 5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, pode-se afirmar que o aproveitamento do bagaço da cana-de-açúcar, resíduo de grande volume da indústria sucroalcooleira, pode ser considerado como alternativa na clarificação do caldo da cana-de-açúcar.

Os carvões ativados quimicamente apresentaram maiores áreas superficiais e também uma maior porosidade do adsorvente, mostrando que estes parâmetros estão relacionados com a capacidade e propriedade do carvão ativado.

A partir dos presentes resultados, pode-se concluir que apesar dos parâmetros textuais serem um bom indicador de materiais adsorventes, não são suficientes para indicar uma correlação entre as características textuais do carvão e a quantidade adsorvida. Portanto, ensaios de adsorção com um conjunto maior de amostras seriam necessários.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, M. B. **Preparação de carvão ativado de bagaço de cana-de-açúcar e sua aplicação na adsorção de Cd (II) e Cu (II)**. Apucarana, UTFPR, 2013. Trabalho de Conclusão de Curso, 53p.
- ALVES, F. C. **Estudo dos processos de adsorção utilizando argilas como adsorventes para remoção do corante verde malaquita**. Lavras, UFL, 2013. Dissertação de Mestrado, 107p.
- ALVES, R. W. **Extração de Corantes de Urucum por Processos Adsorptivos utilizando Argilas Comerciais e Coloidal Gas Aphrons**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. Tese de Doutorado, 173p.
- ARAÚJO, E. J. S.; FONSECA, M. A. **Determinação de °Brix Refratométrico. 2010**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAyUcAl/analise-alimentos-brix>>. Acesso em 02 de Novembro de 2016.
- ARAÚJO, F. A. D. **Processo de clarificação do caldo de cana pelo método da bicarbonatação**, Revista Ciências e Tecnologia, Ano 1, n. 1, julho-dezembro 2007 – 5.
- ARSLANOGLU, F.N. **Adsorption of dark coloured compounds from peach pulp by using granular activated carbon**. Journal of Food Engeneering, v.68, p.409-17, 2005.
- BEZERRA, A. F. **Carvão ativado de endocarpo de coco da baía produzido em forno micro-ondas**. João Pessoa, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, UFPB, 2012. Dissertação de Mestrado, 68p.
- BRAGA, R. M. **Uso de argilominerais e diatomita como adsorvente de fenóis em águas produzidas na indústria de petróleo**. Programa de Pós- Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo. UFRN, 2008. Dissertação de Mestrado, 82p.
- BRANDAO, P. C. **Avaliação do Uso do bagaço de cana como adsorvente para remoção de contaminantes derivados do petróleo, de efluentes**. Uberlândia: Faculdade de Engenharia Química da UFU, 2006. 160p. Dissertação de Mestrado.
- BRUNAUER, S.; EMMETT, P.; TELLER, J. **Adsorption of gases in multimolecular layers**. *J. Amer. Chem. Soc.*, 60: 309, 1938.
- BUTT, H. J.; GRAF, K.; KAPPL, M. **Physics and chemistry of interfaces**. 2 ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2006. 355 p.
- CAMARGO, J. R. et al. **An evaporative and desiccant cooling system for air conditioning in humid climates**. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. v. 27. p. 243-247. 2005.
- CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. Florianópolis, Programa de Pós-graduação em química, UFSC, 2003. Dissertação de Mestrado, 101p.

COUTINHO, A. R.; BARBIERI, F. C.; PAVANI, P. A. **Preparação de carvões ativados a partir de fibras de celulose.** In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE ADSORÇÃO, 2., 2000, Florianópolis. Anais... Florianópolis: UFPE, 2000. p. 139-144.

COUTO, G. M. **Utilização da serragem de *Eucalyptus* sp. na preparação de carvões ativados.** Dissertação em Ciência e Tecnologia da Madeira. Universidade Federal de Lavras. 115 p. 2009.

CRISPIM, S. C. L. **Remoção de cálcio (II) em solução aquosa por meio de carvões ativados submetidos a tratamentos superficiais.** João Pessoa, Programa de Pós-graduação em química, UFPB, 2013. Tese de Doutorado, 136p.

DIAS, J. M.; ALVIM-FERRAZ, M. C. M.; ALMEIDA, M. F.; RIVERA-UTRILLA, J.; SÁNCHEZ-POLO, M. **Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: A review.** Journal of Environmental Management, v. 85, p. 833–846. 2007.

GOES, T.; MARRA, R.; SILVA, G. S. **Setor sucroalcooleiro no Brasil – Situação atual e perspectivas.** Revista de Política Agrícola, Ano XVII, n. 2 – Abr./Maio/Jun. 2008.

GREGG, S. J.; SING, K. S. W.; **Adsorption, Surface Area and Porosity.** Academic Press 2, p. 40-48, London, 1982.

HAMERSKI, F.; Aquino, A. D.; Ndiaye, P. M. **Clarificação do caldo de cana-de-açúcar por carbonatação – ensaios preliminares.** Acta Scientiarum Technology, v. 33, n. 3, p. 337-341, 2011.

KAWA, L. **Resíduos da produção de cana-de-açúcar.** Disponível em: <<http://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/sucroenergetico/156845-residuos-da-producao-de-cana-de-acucar.html#.WBDzMdIrLIW>>. Acesso em 26 de Outubro de 2016.

LETTERMAN, R. D. **Water quality and treatment: a handbook of community water supplies.** 5 Ed. New York: McGraw-Hill: American Water Works Association, v. 1, 1999.

MACEDO, J. S. **Aproveitamento dos resíduos do beneficiamento de fibras de coco na obtenção de um eco-material: carbono ativado mesoporoso.** Dissertação em Química. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão. 73 p. 2005.

MCKAY, G. **Use of adsorbents for the removal of pollutants from wastewaters.** New York: CRC, 1995. 208 p.

MEDEIROS, L. L. **Avaliação do Desempenho de Carvões ativados de Bagaço de cana de açúcar, endocarpo de coco da baía e de coco-babaçu na remoção de cloro residual.** Universidade Federal da Paraíba. Dissertação de Mestrado. João Pessoa, 2001.

MORENO-CASTILLA, C.; RIVERA-UTRILLA, J. **Carbon materials as adsorbents for the removal of pollutants from the aqueous phase.** Materials Research Society Bulletin v. 26, p. 890–894, 2001.



MORENO-CASTILLA, C. **Adsorption of organic molecules from aqueous solutions on carbon materials.** v. 42, p. 83–94, 2004.

MUSSATTO, S. I.; ROBERTO, I. C. **Avaliação de diferentes tipos de carvão ativo na destoxificação de hidrolisado de palha de arroz para produção de xilitol.** Ciência e Tecnologia dos Alimentos, Campinas, v. 24, n. 1, p. 94-100, jan/mar. 2004.

NIEDESBERG, C. **Ensaio de adsorção com carvão ativado produzido a partir da casca do tungue (*Aleurites fordii*), resíduo do processo de produção de óleo.** Santa Cruz do Sul, UNISC, 2012. Dissertação de Mestrado, 65p.

**ETANOL celulósico: O bagaço da cana-de-açúcar como matéria-prima para a hidrólise.** NOVA cana. Disponível em: <<https://www.novacana.com/estudos/etanol-celulosico-bagaco-cana-de-acucar-como-materia-prima-para-hidrolise-241013/>>. Acesso em 23 de Outubro de 2016.

**CANA-DE-AÇÚCAR: Tudo sobre esta versátil planta.** NOVA cana. Disponível em: <<https://www.novacana.com/cana-de-acucar/>>. Acesso em 26 de Outubro de 2016.

NUNES, D. L. **Preparação de carvão ativado a partir de torta prensada de raphanus sativus L. e utilização para clarificação de soluções.** Belo Horizonte, UFMG, 2009. Dissertação de Mestrado, 117p.

ORTIZ, N. **Estudo da utilização de magnetita como material adsorvedor dos metais Cu<sup>2+</sup>, Pb, Ni e Cd, em solução.** São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2000. Tese de Doutorado, 176p.

PAYNE, J. H. **Operações unitárias na produção de açúcar de cana.** São Paulo, Nobel: STAB, p. 245, 1989.

PERUCH, B. M. G. **Adsorção de corantes têxteis em solução aquosa sobre carvão ativado e alumina ativada.** Florianópolis, UFSC, 1997. Dissertação de Mestrado.

PERUZZO, L.C., **Influência de agentes auxiliares na adsorção de corantes de efluentes da indústria têxtil em colunas de leito fixo.** Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. 80p. Tese de Mestrado.

PIRES, A. J.; BALIEIRO, A. C. F.; SILVA, P. G.; GALLI, R. H. S. **Diferenças entre os processos de clarificação de caldo de cana-de-açúcar para a produção de açúcar branco.** Trabalho de conclusão de curso, Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, ETEC, Viradouro, 2012.

PRAUSNITZ, J. M.; LICHTENTHALER, R. N.; AZEVEDO, E. G. **Molecular Thermodynamics of Fluid-phase Equilibria.** Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1986.

RIDESA Brasil. **Catálogo Nacional de variedades RB de Cana-de-açúcar.** Disponível em: <<http://canaufv.com.br/catalogo/catalogo-2010.pdf>>. Acesso em 09 de Novembro de 2016.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente.** 2. ed. Piracicaba: Ed. dos Autores, 2009. 333 p.

RODELLA, C. B. **Preparação e Caracterização de Catalisadores de V2 O5 Suportados em TiO2**. Universidade de São Paulo, 2001. Tese de Doutorado, 134p.

RODRÍGUES-REINOSO, F. **Introduction to Carbon Technologies**. Publicaciones de la Universidad de Alicante. Spain.1997.

SANTANA, M. DE F. S. DE.; KATEKAWA, M. E.; TANNOUS, K.; LIMA, A. K. V. de O.; GASPARETTO, C. A. **Área superficial e porosidade da fibra alimentar do albedo de laranja**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v. 14, n. 3, p. 261–273, 2012.

SARTORI, J. A. S.; GALAVERNA, R.; EBERLIN, M. N.; CORREA, N. T.; MANDRO, J. L.; AGUIAR, C. L. Elucidation of color reduction involving precipitation of non-sugars in sugarcane (*Saccharum* sp.) juice by Fourier-Transform ion cyclotron resonance mass spectrometry. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, v. 39, n. 6, p. 1826- 1831, 2015.

SCHETTINO Jr, M. A.; FREITAS, J. C.; CUNHA, A. G.; EMMERICH, F. G. **Preparação e caracterização de carvão ativado quimicamente a partir da casca de arroz**. Química Nova, Vol. 30, No. 7, 1663-1668, 2007.

SIMIONI, K. R.; SILVA, L. F. L. F.; BARBOSA, V.; RÉ, F. E.; BERNADINO, C. P.; LOPES, M. L.; AMORIM, H. V. **Efeito da variedade e época de colheita no teor de fenóis totais em cana-de-açúcar**. STAB, v.24, p.36-39, 2006.

SOARES, A. G. **Adsorção de Gases em Carvão Ativado de Celulignina**. Campinas, UNICAMP, 2001. Tese de Doutorado, 126p.

SOARES, L. C. S. R. **Destoxificação biológica do hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana-de-açúcar para utilização em processos fermentativos**. Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena, 2012. Dissertação de Mestrado, 112p.

SOUZA, L. A. de. **Carvão ativado**. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/carvao-ativado.htm>>. Acesso em 23 de Outubro de 2016.